

CPU 技术与产业白皮书

(2020 年)

CSTC中国评测

中国软件评测中心·集成电路测评工程技术中心

2020 年 10 月

序 言

习近平总书记指出，核心技术是国之重器，要下定决心、保持恒心、找准重心，加速推动信息领域核心技术突破。芯片是电子信息产业的基础和核心，关乎信息安全、产业安全、外汇安全，更关乎国家安全，是当之无愧的“国之重器”。在各种芯片中，量大面广的处理器（CPU）芯片被公认为半导体皇冠上的明珠。

近几年，我国 CPU 产业在下游应用推动和上游技术突破的双重作用下，已经逐渐形成并不断发展壮大。目前正处于核心技术不断突破、产业链供应链不断完善、产业向细分领域不断分化的发展关键期。亟需科学分析我国当前 CPU 技术与产业发展现状，正视发展过程中的核心问题并提出技术发展路线图及解决方案，更好的指导和服务我国 CPU 产业持续健康发展。

本白皮书由中国软件评测中心集成电路测评工程技术中心组织撰写，参与人员包括高宏玲、翟腾、郭青帅等，在此特别感谢中国电子信息产业发展研究院副院长黄子河、副总工程师安晖、赛迪智库集成电路产业研究所王世江所长、中国软件评测中心总工程师陈绿萍及国内 CPU 生产企业和研究机构有关专家对本白皮书的撰写指导，感谢的感谢品牌宣传推广部刘喜喜、闫晓丽的编辑及排版支持，限于研究时间有限，报告内容难免存在纰漏，不足之处恳请各方同仁批评指正！

中国软件评测中心 高宏玲

2020 年 10 月 12 日

版权声明

本白皮书版权属于中国软件评测中心，并受法律保护，转载、摘编或利用其他方式使用本白皮书文字或观点的，应注明“来源：中国软件评测中心”，违反上述说明的，本单位将追究其相关法律责任。

CSSTC 中国评测

编写指导：黄子河 安 晖 王世江 陈淦萍
编写小组：高宏玲 翟 腾 郭青帅

目 录

前 言.....	- 1 -
一、 概念及内涵.....	- 2 -
(一) CPU 基本概念	- 2 -
(二) 产品分类.....	- 3 -
1. 基于指令集	- 3 -
2. 基于应用领域	- 5 -
(三) 产业链供应关系.....	- 7 -
1. 产业链上游	- 7 -
2. 产业链下游	- 9 -
二、 发展趋势分析.....	- 10 -
(一) 全球发展历程	- 10 -
1. 国外产品发展历程	- 10 -
2. 国内产品发展历程	- 13 -
(二) 全球发展现状	- 15 -
1. 全球发展现状.....	- 15 -
2. 国内发展现状.....	- 17 -
(三) 全球发展趋势	- 18 -
1. 产品发展趋势.....	- 18 -
2. 技术发展趋势.....	- 19 -
三、 关键环节分析.....	- 21 -
(一) 核心技术分析	- 22 -
1. CPU 核心技术.....	- 22 -

2. 核心技术掌握情况	- 24 -
(二) 供应链安全分析	- 26 -
1. 在供应链中的位置	- 26 -
2. 供应链安全分析	- 26 -
3. 知识产权环节分析	- 28 -
四、 目前面临的主要问题	- 29 -
(一) 产业链关键环节受制于人	- 29 -
(二) 关键标准被国外企业主导	- 29 -
(三) 核心知识产权被国外垄断	- 30 -
(四) 尚未形成完善的应用生态	- 31 -
(五) 专业技术型人才缺口较大	- 31 -
五、 发展路径及对策建议	- 32 -
(一) 全力推进核心工艺技术突破	- 32 -
(二) 建国内 CPU 产业应用生态	- 32 -
(三) 完善我国知识产权战略体系	- 33 -
(四) 大力扶持 CPU 新兴应用领域	- 34 -
(五) 加强集成电路人才培养力度	- 34 -

前言

CPU技术和产业白皮书是通过搜集和整理全球CPU发展历史和技术演进，分析国内外CPU发展现状和趋势，对比分析国内外CPU核心技术和产业链实力后形成的总结性汇报材料，旨在通过完整的技术和产业分析，建议和引导国内CPU产业更好地发展。

本文一共包括五个章节，分别就CPU基本概念做了详细的介绍，对全球发展历程、现状和趋势进行了描述和分析，并针对CPU产品的关键环节做了详细的说明和对比分析，最后就整个行业发展中的突出问题及对策建议做了总结性的梳理和报告。

中国软件评测中心（工业和信息化部软件与集成电路促进中心）是工业和信息化部的直属单位。长期服务和支撑国家部委、地方政府以及电信和互联网、交通、能源、银行、证券、保险、教育、卫生、广电、航空等各大行业，业务范围覆盖全国31个省、自治区、直辖市，业务网络覆盖全国500多个城市，构建了基于第三方服务的科技产业链。

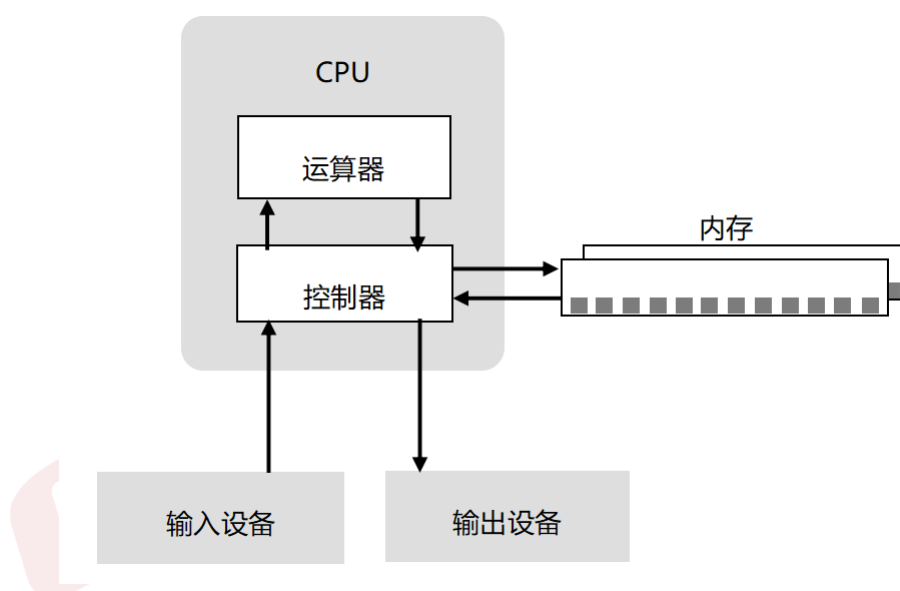
集成电路测评工程技术中心（简称“集成电路中心”）是中国软件评测中心核心业务板块，集成电路中心以高端芯片检测业务为基础，主要研究方向包括：基础检测能力建设和安全评估能力建设两方面，支撑集成电路认证业务，对接集成电路设计制造和系统应用领域，全方位服务集成电路产业发展。

一、 概念及内涵

(一) CPU 基本概念

CPU 是中央处理器 (Central Processing Unit) 的简称, 由采用超大规模的集成电路组成制造, 是实现计算机的运算核心和控制核心。CPU 包括运算器、控制器、高速缓冲存储器、内部数据总线、控制总线及状态总线输入/输出接口等模块。

图 1 CPU 基本架构图



图片来源: 中国评测, 2020 年 10 月

CPU 的主要功能是解释计算机指令以及处理计算机软件中的数据, 从存储器或高速缓冲存储器中取出指令, 放入指令寄存器进行指令解码, 将指令分解成一系列的微操作, 连接到各种能够进行所需运算的 CPU 模块部件, 发送控制命令, 从而完成指令的执行。

目前在信息化系统中使用的 CPU 主要是微处理器。微处理器 (Micro Processor) 是采用大规模集成电路实现的中央处理器 CPU,

形式上一般是一个芯片，或者芯片 SOC 中的一个模块。微处理器根据应用领域，大致可以分为三类：通用处理器（MPU，主要用于高端 CPU）、微控制器（MCU）和专用处理器。本文中除非另作说明，对“微处理器”和“CPU”不加区分的使用。

（二）产品分类

CPU 是一个庞大的家族，可以按照指令集、应用领域进行分类。

图 2 CPU 产品分类



图片来源：中国评测，2020 年 10 月

1. 基于指令集

指令集是 CPU 所执行的指令的二进制编码方法，是软件和硬件的接口规范。日常交流中有时也把指令集称为架构。CPU 按照

指令集可分为 CISC（复杂指令集）和 RISC（精简指令集）两大类，CISC 型 CPU 目前主要是 x86 架构，RISC 型 CPU 主要包括 ARM、RISC-V、MIPS、POWER 架构等。

（1）x86 架构

基于 CISC（复杂指令集）的 x86 架构是一种为了便于编程和提高存储器访问效率的芯片设计体系，包括两大主要特点：一是使用微代码，指令集可以直接在微代码存储器里执行，新设计的处理器，只需增加较少的晶体管电路就可以执行同样的指令集，也可以很快地编写新的指令集程式；二是拥有庞大的指令集，x86 拥有包括双运算元格式、寄存器到寄存器、寄存器到存储器以及存储器到寄存器的多种指令类型。

（2）ARM 架构

ARM 架构过去称作进阶精简指令集机器，是一个 32 位精简指令集处理器架构，其广泛地使用在许多嵌入式系统设计，近年来也因其低功耗多核等特点广泛应用在数据中心服务器市场。早期 ARM 指令集架构的主要特点：一是体积小、低功耗、低成本、高性能；二是大量使用寄存器，且大多数数据操作都在寄存器中完成，指令执行速度更快；三是寻址方式灵活简单，执行效率高；四是指令长度固定，可通过多流水线方式提高处理效率。

（3）RISC-V 架构

RISC-V 是加州大学伯克利分校设计并发布的一种开源指令集架构，其目标是成为指令集架构领域的 Linux，主要应用于物联网（IoT）领域，但可扩展至高性能计算领域。RISC-V 采用 BSD

License 发布，由于允许衍生设计和开发闭源，吸引了一大批公司的关注，目前已有不少公司开发基于 RISC-V 的 IP 核，如 Si-Five、台湾晶心、阿里平头哥等已可提供基于 RISC-V 的处理器 IP 核，部分企业如兆易创新、北京君正等已开发出基于 RISC-V 的 MCU 芯片等。但整体上，由于 RISC-V 产业生态还比较薄弱，未来的发展仍有较长一段路要走。

(4) MIPS 架构

MIPS 是高效精简指令集计算机体系结构中的一种，MIPS 的优势主要有三点：一是发展历史早，MIPS 在 1990 年代已经广泛使用在服务器、工作站设备上。二是在学术界影响广泛，计算机体系结构教材都是以 MIPS 为实际例子。三是 MIPS 在架构授权方面更为开放，授权门槛远低于 x86、ARM，在 2019 年曾经有开放授权的实际行动，并且 MIPS 允许授权商自行更改设计、扩展指令，允许二次授权。

(5) POWER 架构

POWER 架构是由 IBM 设计的一种 RISC 处理器架构，POWER 在大型机领域独具优势。POWER3 是全球首款 64 位架构处理器，开始应用铜互联和 SOI（绝缘体上硅）技术。直至 POWER9 依然追求最高性能，不仅具备乱序执行、智能线程等技术，还实现了 SMP（对称多处理技术）的硬件一致性处理。POWER 架构 CPU 价格高昂，主要应用于高端服务器领域，市场份额逐渐减少。

2. 基于应用领域

微处理器根据应用领域，大致可以分为三类：通用微处理器

(MPU, Micro Processor Unit)、微控制器 (MCU, Micro Controller Unit) 和专用处理器, 本文涉及的中央处理器 (CPU, Central Processing Unit) 属于通用微处理器。

(1) 通用微处理器

CPU 通常按照面向的市场分为用于服务器、桌面 (台式机/笔记本)、超级计算机等。另外, 近年的网络安全、嵌入式应用也对 CPU 性能提出较高要求, 很多网络安全、嵌入式系统使用和桌面、服务器相同级别的 CPU。

(2) 微控制器

MCU 微控制单元, 是用于控制类应用的低性能、低功耗 CPU。把 CPU 的主频一般低于 100MHz, 通常率与规格做适当缩减, 并将内存、常用外设接口计数器、USB、A/D 转换、UART、PLC、DMA 等周边接口, 甚至 LCD 驱动电路都整合在单一芯片上, 形成芯片级的计算机, 主频、功耗都可以很低, 为不同的应用场合做不同组合控制。诸如在智能制造、工业控制、智能家居、遥控器消费领域, 以及汽车电子、工业上的步进马达、机器手臂的控制等, 都大量使用 MCU。

(3) 专用处理器

专用处理器实现面向某一领域的特定功能。例如数字信号处理器 (DSP, Digital Signal Processor), DSP 芯片也称数字信号处理器, 是一种专用于进行数字信号处理运算的微处理器, 其主要应用是实时快速地实现各种数字信号处理算法。DSP 一般专用于某种专用的计算, 一般不会像 CPU 一样运行通用的操作系统。DSP

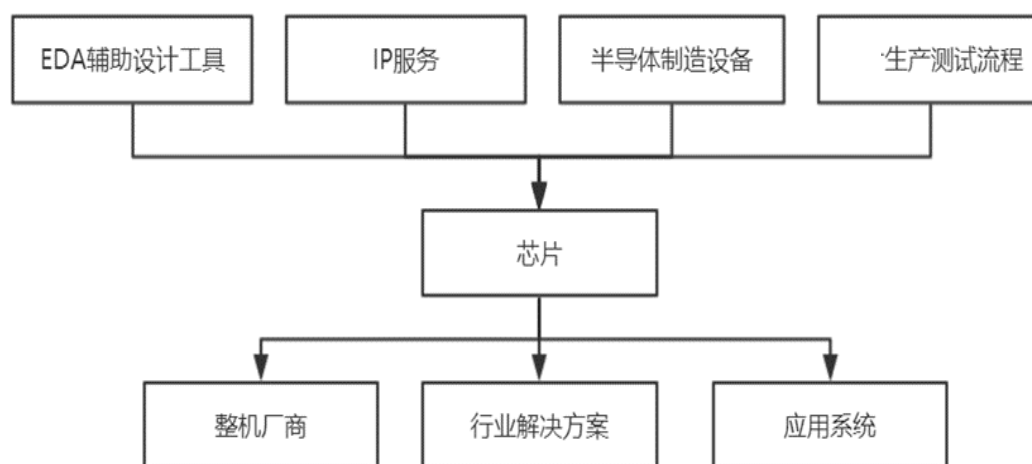
广泛应用于数字控制、运动控制方面的应用主要有磁盘驱动控制、引擎控制、激光打印机控制、喷绘机控制、马达控制、电力系统控制、机器人控制、高精度伺服系统控制、数控机床等。其它专用处理器还有深度学习处理器、数据库加速处理器、安全处理器、类脑计算芯片等。

(三) 产业链供应关系

1. 产业链上游

CPU 的产业链上游包括支撑集成电路设计和制造的 EDA 辅助设计工具和 IP 服务，半导体制造设备、芯片生产测试流程。目前 CPU 的产业链上游企业多为国外知名厂商，具有垄断优势，国产化程度较低。

图 3 CPU 产业链上下游分布



图片来源：中国评测，2020 年 10 月

(1) EDA 辅助设计工具 (Electronic design automation)

EDA 电子设计自动化工具 (Electronic Design Automation) 是用来辅助芯片设计的专用软件工具，是集成电路设计业的基础。

EDA 是需要多年积累的高复杂软件。从功能类别上，EDA 工具可分为：设计自动化软件如逻辑综合、布局布线等；分析验证软件如仿真、时序分析、物理验证等。从设计对象类别上，EDA 工具可分为：模拟电路设计软件；数字电路设计软件；工艺辅助设计软件等。

(2) IP 服务

IP 核，又称知识产权核 (Intellectual Property Core)，是指具有预先设计的功能并且重复用于其它系统的电路模块。IP 核类似于软件模块，形成了成熟的 IP 设计服务市场。芯片公司无需对芯片每个细节进行设计，通过购买成熟可靠的 IP 方案，实现某个特定功能。这种类似搭积木的开发模式，缩短了芯片开发的时间，有利于抢占市场。

(3) 半导体制造设备

半导体制造设备是 CPU 芯片制造的基础，半导体制造流程包括硅片制造、晶圆制造、封装测试三个环节，整个制造流程中晶圆代工厂设备占比最高约为 80%、检测设备占 8%、封装设备约占 7%，硅片制造设备及其他占 5%。全球的主要生产厂商集中在欧美、日本、韩国以及中国台湾等地，国外比较知名的企业如美国应用材料 (AMAT)、荷兰阿斯麦 (ASML)、东京电子等凭借资金、技术优势逐渐垄断了全球半导体设备市场，我国在高端半导体制造设备领域与国外还有很大差距。

(4) 芯片生产测试流程

在芯片生产环节，主要的供应链节点包括流片、封装和测试。

在流片、封装、测试方面，国际主流的企业是台积电、三星等，工艺水平最高达到 5nm。以流片环节为例，2019 年全球十大半导体流片代工厂分别为：台积电、三星、格芯、联电、中芯国际、TowerJazz、华虹半导体、VIS、PSC、DongbuHiTek。其中境内厂商有中芯国际、华虹半导体，境内企业占全球市场份额的比重低于 10%，境内工艺水平最高达到 14nm。目前最先进的制程被 Intel、台积电、三星等公司垄断。测试机台研发企业，主要有 Advantest、Hontec 等。

2. 产业链下游

CPU 的产业链下游包括各类整机厂商、行业解决方案、应用系统，其中最重要的是服务器、桌面和嵌入式系统等硬件设备厂商。

我国 CPU 市场规模和潜力非常大，庞大的整机制造能力意味着巨量的 CPU 采购。据数据统计，2018 年国内计算机整机产量达到 3.2 亿台。2018 年国内服务器出货量达到 330.4 万台，同比增长 26%，其中互联网、电信、金融和服务业等行业的出货量增速也均超过 20%。另外，国内在物联网、车联网、人工智能等新兴计算领域，对 CPU 也存在海量的需求。美国企业（Intel、AMD、高通等）是我国 CPU 产品的主要供应商，其中直接从美国本土进口的 CPU 芯片体量也比较大。以 2019 年前 7 个月为例，我国累计从美国进口处理器 64.87 亿元，占到我国从美国芯片进口额的 84%，占比非常之高。对美国处理器的过度依赖，成为我国信息产业发展的一大软肋。

二、 发展趋势分析

(一) 全球发展历程

1. 国外产品发展历程

从整个 CPU 的技术发展历史来看，大致可以分为以下几个阶段：

第一阶段：计算性能提升

1971-90 年代初：CPU 主要向计算性能提升方向发展，晶体管数量由千级提升至百万级。

第二阶段：多媒体及个人应用出现

90 年代初-2000 年初：CPU 向个人应用及多媒体方面发展，包括音、视频及通信方向，同时晶体管数量由百万级提升至千万级。

第三阶段：多元化发展

2000 年代初-2010 年：出现 64 位处理器产品，CPU 产品开始向多元化发展，包括服务器、桌面、移动端等，同时工艺制程得以提升。

第四阶段：多核技术出现，集成化更高

2010 年至今：CPU 核心数量、频率得以大幅发展，主频突破 3GHz，实现多核/多线程技术，AMD 第 1 代 APU (CPU 集成 GPU 单元) 开始出现。

表 1 全球 CPU 产品发展历程

阶段	时间	事件
----	----	----

第一阶段：计算性能提升	1971 年	Intel 公司推在出了世界上第一台微处理器 4004。这是第一个用于计算器的 4 位微处理器
	1978 年	Intel 公司再次领导潮流，首次生产出 16 位的微处理器，并命名为 i8086，同时还生产出与之相配合的数学协处理器 i8087，这两种芯片使用相互兼容的指令集，但在 i8087 指令集中增加了一些专门用于对数、指数和三角函数等数学计算指令。由于这些指令集应用于 i8086 和 i8087，所以人们也将这些指令集统一称之为 x86 指令集。
	1979 年	Intel 公司推出了 8088 芯片，它仍旧是属于 16 位微处理器。1981 年 8088 芯片首次用于 IBM PC 机中，开创了全新的微机时代。也正是从 8088 开始，PC（personal computer——个人电脑）的概念开始在全世界范围内发展起来
	1982 年	Intel 推出了划时代的最新产品 80286 芯片，也就是俗称的 286。这是 Intel 第一个可以运行所有为其撰写的处理器，在发布后的六年中，全球一共交付了一千五百万台
	1985 年	MIPS 推出了第一代使用 MIPS 指令集的处理器：R2000 标志着现代 RISC 处理器的诞生，并引领了接下来一段时间的 CPU 设计潮流；同年，第一颗 ARM 处理器诞生。
	1991 年	1991 年，ARM 推出第一款嵌入式 RISC 处理器，即 ARM6。
第二阶段：多媒体及个人应用出现	1992 年	Intel 正式宣布第五代处理器被命名 Pentium。Intel Pentium 处理器能够让电脑更加轻松地整合“真实世界”中的数据（如讲话、声音、笔迹和图片）。x86 在微架构设计上开始超越较之昂贵很多 Alpha 处理器。
	1996 年	Intel 推出了奔腾 MMX。MMX 是 Intel 公司在 1996 年位增强奔腾 CPU 在音箱、图形和通信应用方面而采取的新技术，为 CPU 增加了 57 条 MMX 指令，因此处理多媒体的能力上提高了 60%左右。后来的 SSE，3D NOW! 等指令集也是从 MMX 发展演变过来的。
	1997 年-2000 年	Intel 奔腾 II、奔腾 III、奔腾 4 相继发布，从奔腾 II 开始采用了 Single Edge Contact 匣型封装，奔腾 III 加入了 70 个新指令，首次导入 0.25 微米技术，奔腾 4 晶体管数量更是达到 4200 万，提供 SSE2 指令集。

第三阶段：多元化发展	2001 年	Intel 至强 (Xeon) 处理器发布, Intel 至强处理器的应用目标是那些即将出现的高性能和中端双路工作站、以及双路和多路配置的服务器。
	2002 年	DEC 被惠普收购, Alpha 处理器基本退出市场竞争。
	2003 年	Intel Pentium M 处理器结合了 855 芯片组家族与 Intel PRO/Wireless 2100 网络联机技术, 成为 Intel Centrino 移动运算技术的重要组成部分, 该处理器支持更耐久的电池使用时间, 以及更轻更薄的笔记本电脑造型。
	2003 年	AMD 推出 AMD64 -64 位 x86 指令集扩展, 该指令集由于良好的兼容性生态, 取代了 Intel 推出的 EPIC 指令集, 成为后续市场主流标准。
	2004 年	Intel 公司推出代号为 Nocona 内核的 64 位至强处理器, 是 Intel 迄今为止推出的最成功的企业级 64 位服务器产品。同年, ARM 发布了 ARMv7 架构的 Cortex 系列处理器, 同时推出 Cortex-M3。
	2005 年	Intel Pentium D 是首颗内含 2 个处理核心的处理器, 正式揭开 x86 处理器多核心时代。
	2006 年	酷睿 2 是 Intel 推出的新一代基于 Core 微架构的产品体系统称。酷睿 2, 是一个跨平台的构架体系, 包括服务器版、桌面版、移动版三大领域。其中, 服务器版的开发代号为 Woodcrest, 桌面版的开发代号为 Conroe, 移动版的开发代号为 Merom。
	2007 年	第一代 iPhone 发布, 其采用的 ARM1176JZ(F)-S 处理器, 其后, AArch(32/64)生态统治了智能手机领域。
第四阶段：多核技术出	2010 年	Intel 正式面向全球发布最新的革命性产品, 基于全新的 32 纳米制程的 i7、i5、i3 处理器产品。同年, ARM 推出 Cortex-M4、成立 Linaro, 推出 Cortex-A15 MPcore 高性能处理器。
	2011 年	ARM 发布了 64 位的 ARMv8 架构, 并于同年推出 big.LITTLE 处理技术, 优化了 ARM 系统级芯片(SoCs)的能效。ARM 开始 64 位处理器进程。

现, 集成化更高	2015 年	ARM Cortex-A72 正式发布, 定位高端市场。
	2017 年	Intel 第七代酷睿处理器 i7、i5、i3 发布, 采用了 14nm 的制作工艺。
	2017年2月	AMD 基于 Zen 架构的 Ryzen (锐龙) 系列 CPU 处理器发布; 6 月发布基于 Zen 架构的第一代 EPYC (霄龙), 重返数据中心 CPU 处理器市场。
	2018 年	Intel 第八代酷睿处理器 i7、i5、i3 发布, 同时 i9 处理器首次亮相, i9 包含 8 个内核, 单核睿频频率高达 5.0GHz, 主要面向游戏玩家和高性能需求者。i9 处理器真正想要实现的, 就是除了 PC 普通的任务之外的 VR 内容或者是大数据的任务。
	2018年4月	AMD 第二代 Ryzen 系列 CPU 处理器发布。同年 8 月 AMD 宣布新品将转由 TSMC 7nm 工艺制造。
	2019 年	ARM 正式宣布了新一代移动 CPU 架构 Cortex-A77, cortex-A77 代号“Deimos (戴莫斯, 畏惧之神), 是 A76 的直接继任者, 新核心在很大程度上前代产品保持一致, 在维持 A76 架构出色能效以及较小核心面积的同时, 进一步提升了性能。
	2019 年	全新 Intel 酷睿 X 系列处理器, 最多包含 18 个内核, 单核睿频频率 4.6Ghz, 旨在支持需求各不相同的高级创作者工作流程: 照片及视频编辑、视觉效果、动态图形、游戏开发和 3D 动画。
	2019年5月	AMD 发布基于 TSMC 7nm 工艺、Zen 2 架构的第三代 Ryzen 系列 CPU 处理器; 8 月发布基于 TSMC 7nm 工艺、Zen 2 架构的第二代 EPYC 服务器 CPU。同年, 第二代 Intel 至强可扩展处理器发布, 能够满足用户严苛的计算处理要求, 覆盖从智能边缘到云, 到 AI 和 5G 等各种应用环境。

数据来源: 中国评测, 2020 年 10 月

2.国内产品发展历程

国产 CPU 在桌面、移动、高性能计算、及嵌入式领域均实现较快发展, 在不断缩小与国外 CPU 的技术差距。在发展的同时需要大量的资金、人员投入, 以及国家产业政策的持续支持。在 2006

年启动的核高基专项，以及后续大基金持续支持下，政府和企业均在发力，无论是高性能计算、服务器级 CPU、还是桌面以及移动和嵌入式 CPU，都取得了较大进展。已有的产品通过不断的优化升级，实现了从“可用”到“好用”，一些量大面广的领域，也实现了“零”的突破。从整体上看，国产 CPU 芯片同国际差距扩大的态势逐步在逆转。

表 2 国产 CPU 产品发展历程

阶段	时间	事件
起步阶段	上世纪 50-70 年代	1956 年，半导体科技被列为国家新技术四大紧急措施之一。此后，中科院计算所、109 厂、半导体所先后成立，锗晶体管、硅平面晶体管、集成电路等半导体器件相继实现突破，为 109 乙机、109 丙机、156 机的诞生分别提供了基础。1975 年，伴随大规模集成电路技术的兴起，我国第一台集成电路百万次计算机 013 机研制成功。这一时期独立自主的产业发展为我国 CPU 事业打下了坚实基础。
转折阶段	上世纪 80-90 年代	1985 年，中科院计算所、半导体所有关研制大规模集成电路的单位和 109 厂合并，成立中科院微电子中心。但这一时期，由于政策支持力度有所减弱等原因，产业完全市场化但自主性不足。
提速阶段	21 世纪初至今	从“十五”开始，国产 CPU 自主性的问题再度提上议程，产业政策不断加码。泰山计划、863 计划等催生了一批国产 CPU 品牌，2002 年，我国首款通用 CPU——龙芯 1 号流片成功。 2006 年，“核高基”重大专项推出，“高”即为高端通用 CPU。2014 年，我国发布《国家集成电路产业发展推动纲要》，国家集成电路产业投资基金（简称国家大基金）第 1 期成立，主要投资集成电路制造企业。2019 年，国家大基金第 2 期成立，主要投资应用端。

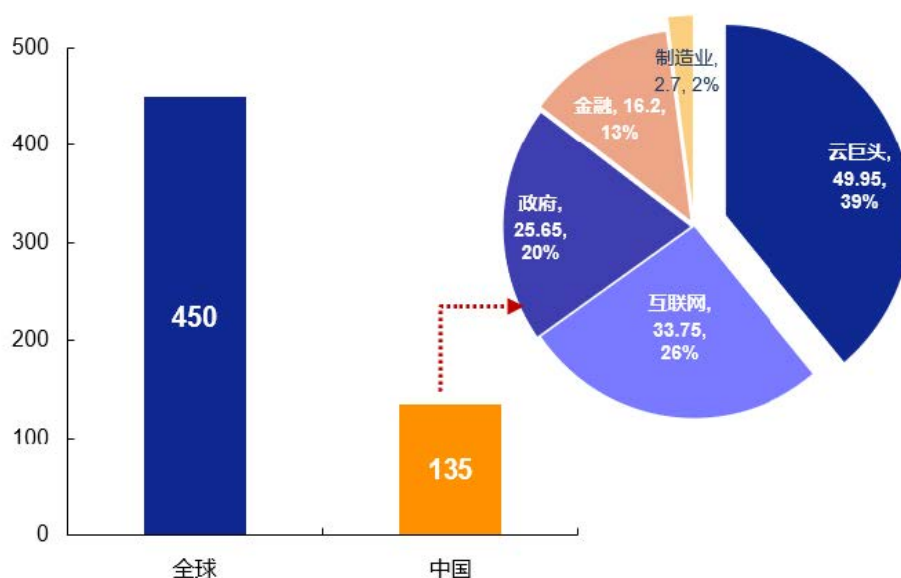
数据来源：中国评测，2020 年 10 月

（二）全球发展现状

1.全球发展现状

产业规模方面，据公开数据统计，2019 年全球 CPU 整体市场规模约为 1800 亿美元，其中服务器 CPU 市场规模约为 450 亿美元，桌面 CPU 市场规模约为 550 亿美元，移动终端 CPU 市场规模约为 800 亿美元。按照 Mercury Research 的数据分析，2019 年第四季度，全球 X86 CPU 市场中，Intel 占据 84.4% 份额，AMD 占据 15.5%；细分市场中，服务器 CPU 中，Intel 占 95.5%，AMD 占 4.5%，桌面 CPU 中，Intel 占 81.7%，AMD 占 18.3%。

图 4 服务器 CPU 市场规模及结构分布（亿美元）



数据来源：中国评测，2020 年 10 月

在服务器市场，目前的 CPU 架构包括 x86 和 ARM。x86 为当前服务器 CPU 的主流架构，占据服务器市场的绝大多数份额，代表性厂商为 Intel 和 AMD，国内厂商兆芯和海光也参与到了 x86 架构的国内化替代工作，目前主要定位于政务和行业应用等市场；

在 ARM 阵营中，目前的代表厂商包括华为、飞腾、高通、亚马逊等，在新基建政策的推动下，ARM 架构有望发挥其在移动市场的传统优势，借力端/云协同，抢占服务器市场更多份额。根据 IDC 统计，全球服务器 CPU 产品目前在线程、工艺和主频上各有不同，按照 1500 美元/片的平均单价以及 3000 万片/年的出货量测算，2019 年服务器 CPU 在全球市场规模约为 450 亿美元，国内市场服务器出货量约占全球的 30%，市场规模大约为 135 亿美元/年。从需求端来看，云服务巨头和互联网厂商基于性价比考虑，主要采用 Intel 和 AMD 的产品；国内政府、金融、电力等重点行业的国内化需求较高，市场规模达到 297 亿元。

在桌面 CPU 市场，根据 IDC 统计，2019 年全球 PC 出货量总计 2.6 亿台，我国 PC 市场销售量约为 5060 万台左右，占全球 PC 市场的 19.6%，按照桌面 CPU 平均单价 215 美元来计算，2019 年国内桌面 CPU 市场规模在 110 亿元。

在移动终端市场，移动端 CPU 约占全球 CPU 市场份额的 25-30%，预计在 2020 年会有所下降。在市场大环境逐渐回暖的情况下，2019 年全球移动终端 CPU 市场规模约为 801 亿美元，预计在 2020 年将会达到 917 亿美元。

产品生态方面，在传统 PC 市场，Intel 和微软构建的“Wintel”体系一直牢不可破，Intel 引领者 CPU 的发展并领导着一批 PC 硬件制造企业为其适配，微软及其合作伙伴在操作系统和应用软件方面同 Intel 的 x86 体系芯片进行密切合作。微软的操作系统更新后，往往会拉动一波新的 PC 更换大潮，进而带动对 CPU 的新需

求。在移动终端市场,同样存在类似的生态体系,即 Arm 和 Android 的组合(业内称 AA 体系),该组合同样具备强大的影响力。Arm 占据了全球 95% 的移动芯片授权市场,而 Android 在移动操作系统市场上的份额也高达 85%。

制造工艺方面,2018 年,台积电、三星等全球领先晶圆制造厂商陆续进入 7nm 工艺制程节点。苹果的 A12 处理器和华为麒麟、骁龙系列,采用台积电 7nm FinFET 工艺。高通骁龙处理器和三星处理器均采用三星的 7nm 工艺。2017 年 9 月,Intel 正式宣布量产 10nm 工艺制程产品,从鳍片间距、栅极间距、最小金属间距等关键参数可以看出,Intel 的 10nm 工艺技术与台积电和三星的 7nm 工艺技术相当。台积电 5nm 工艺的芯片已在 2019 年年底量产,考虑到 Intel 使用 7nm 工艺制程的产品预计在 2021 年才能量产,台积电仍将在代工领域保持强大优势。

封装测试方面,随着最小沟道长度不断逼近物理极限,特征尺寸微缩难度不断加大,目前封装测试行业正尝试将制造工艺与三维堆叠集成等先进封装技术结合形成中道工艺,从而提高晶体管密度,延续摩尔定律。比如当前业内最关注的小芯片技术,将一些预先生产好的,能实现特定功能的芯片裸片(die),通过先进的集成技术集成封装在一起。此举相当于将 SoC 芯片化整为零,将其功能分解以使用更合适的工艺来实现。因此,目前业内在着重发展小芯片(chiplet)等先进封装技术。

2.国内发展现状

国产 CPU 目前在性能和商业生态上同国际巨头还存在一定差

距。性能方面，桌面和服务器产品性能进一步提升，尤其是海光和华为的服务器产品性能已接近国外中端产品水平，具备一定市场竞争力，但总体来看，国内 CPU 产品的单核性能仍是最大短板，应用生态方面，对商业生态的要求较低，对安全和定制化要求较高的重点行业市场成为国产 CPU 的主要应用方向。目前国产 CPU 在党政办公、重点行业等特定市场应用中已经实现了对国外部分产品小规模替代，其中 2019-2020 年桌面 CPU 和服务器 CPU 出货量呈现连续上升趋势，国内市场规模保持高速增长。但在开放市场中，服务器和桌面 CPU 仍然没有突破性的进展，产品应用生态尚不完善，市场份额基本被 Intel、AMD、IBM 几家全部分完。

我国 CPU 产品发展迅速，产品线种类繁多，市场应用初具规模。目前已经初步建立了完整的软硬件生态，在操作系统、工具链和硬件兼容等指标方面，国内企业均兼容统信 UOS、麒麟软件等主流国产操作系统，硬件兼容性方面，目前产品基本兼容国内外主流的内存、硬盘和显卡产品。目前，国产 CPU 及配套软硬件虽然与 Wintel 生态尚有一定差距，但已经在政府、国防、高性能计算机、北斗导航、网络安全、工业控制等等领域得到了越来越多的应用，形成了多个小型的软硬件生态。

(三) 全球发展趋势

1. 产品发展趋势

(1) ARM、RISC-V 等处理器随需产生

在移动互联时代，高能效的 ARM 以功耗优势和精简指令集，

逐渐成为移动处理器的王者。ARM 以其独特的高能效、多并发能力逐渐成为 PC 和数据中心的新宠。随着 ARM Native 应用和分布式场景越来越多，ARM 在数据中心为世界提供了另外一种的算力选择。随着 5G 的推进，RISC-V 在 IOT 的优势越来越明显。RISC-V 开源指令集的设计充分体现了其小型、快速、低功耗特点，在 IOT 应用中必然会有较大的发展。

(2) 算力形态逐渐多样化

算力需求和数据量的爆发式增长，催生计算进入多样性时代，一套通用计算架构很难满足不同的算力场景。高性能需要大量浮点算力，图形处理需要大量的渲染计算，AI 兴起对算力的要求更加高。为适应不同的场景需求，在通用 CPU 算力的基础上，补充了大量异构计算，如基于通用规则的 CPU、专用计算 DSP、基于物理世界的 GPU、基于统计学的 AI 芯片、可编程的 FPGA 等相互协作，满足各种场景的算力需求。

(3) 产品集成度进一步提升

摩尔定律失效，功耗墙限制 CPU 的频率的大幅提升，但是业务对算力的需求是持续增长的。CPU 发展出越来越多的内核数量，64 核，128 核甚至更多核数开始在数据中心出现。

2. 技术发展趋势

万物互联使得数据量激增，海量数据处理成为未来数据中心的主要负载。数据中心处理器需要朝更高性能、更高能效、更低成本、更加安全的方向发展。

(1) 半导体制程工艺持续更新

摩尔定律放缓，但摩尔定律并没有停滞。学术界和产业界仍在通过各种手段延续摩尔定律。在 2019 年 10 月 11 日东京主办的年度研究结果介绍会上（ITF Japan 2019），IMEC 向大家展示了其通过改进晶体管结构和材料，并且对工艺进行优化以呈现 1nm 节点的技术路线图。

（2）多核同构技术实现更多核心集成

在过去的几十年，计算领域主要围绕提升主频和优化微架构提升指令并行来提升性能，但目前这两个方法都触碰到了天花板。提升主频方面，当主频突破 3GHz 之后进入拐点，继续提升主频，功耗将会以主频的 3 次方快速提升，产生大量的热超出了当前工程极限，可靠性无法保障。在微架构创新上，芯片架构师通过多发射，乱序执行，分支预测等手段来增加指令级并行，但随着指令发并行的进一步提升，边际效应越来越低，性能提升需要的代价越来越大，无以为继。

（3）先进封装技术进一步提升产品性能

随着集成的核越来越多，处理器硅片的面积也越来越大，甚至可能超过 1 reticle 的光罩极限。另外，单独一颗大面积的 die，其良率会非常低，导致整芯片成本异常高。先进封装技术能够集成多种制程工艺的计算引擎，实现类似于单芯片的性能，但其平台范围远远超过单芯片集成的芯片尺寸限制。这些技术将大大提高产品级性能和功效，缩小面积，同时对系统架构进行全面改造。

（4）内存带宽升级不断提高 CPU 性能上限

JEDEC 于 2016 年就开始制定 DDR5 SDRAM 规范了，预计它

将会在今年正式完成 DDR5 标准的制定。根据美光的公开介绍，在同样的等效频率下，DDR5 内存能够提供更高的有效带宽，比如同样处于 3200MT/s 下，DDR5-3200 的有效带宽比 DDR4-3200 的要高出 36%；其次是 DDR5 的等效频率能够去到更高，目前规范定义可以达到 DDR5-6400，而在 DDR5-4800 时，其有效带宽就已经是 DDR4-3200 的 1.87 倍了。

(5) IO 带宽标准不断升级

PCI-SIG 近期向其成员发布了 PCIe 6.0 规范的 0.5 版，PCI-SIG 称有信心在 2021 年最终确定 PCIe 6.0 标准。根据官方的介绍，PCIe 6.0 的带宽将会再次翻倍，PCIe 6.0 x16 的带宽将提升至 256GB/s。而 PCIe 6.0 需要的 64Gbps 速率的高速 SerDes，将成为处理器 IO 领域的关键技术。

(6) 安全可信技术日趋完善

处理器作为信息设施的核心，其自身的安全、健壮和可信是信息安全的前提和基础。同时由于处理器的精密性，有些安全漏洞很难通过软件补丁修复。近阶段内存加密、支持专用加密算法等新技术的应用，处理器安全性逐步提升。内存加密通过数据写入内存的时候，使用密钥进行加密，而且每次系统重置后都随机生成新的密钥，确保数据在处理器系统中彻底告别明文数据。支持专用加密算法例如支持国密，使处理器与上层应用系统通讯交互安全可信，处理器工作整体处于安全环境中。

三、 关键环节分析

（一）核心技术分析

1. CPU 核心技术

影响 CPU 技术发展水平的核心技术因素包括指令架构、逻辑设计、物理设计和封装设计几个方面。

（1）指令集架构

计算机指令是指指挥机器工作的指示和命令，指令集是 CPU 中用来计算和控制计算机系统的一套指令的集合，每一种新型的 CPU 在设计时就规定了一系列与其他硬件电路相配合的指令系统。因此，指令集的先进与否关系到 CPU 的性能发挥，指令的强弱也是 CPU 的重要指标。从现阶段的主流体系结构讲，指令集可分为复杂指令集和精简指令集。CPU 从最初发展至今已经有四十多年的历史，国外厂商在指令系统方面早已建立起了成熟的指令系统知识产权保护与生态，时至今日，全球范围内 CPU 的主流架构依旧是 X86 和 ARM 两种，基于主流架构，Intel、ARM 等企业构建起了相应的生态体系。

（2）逻辑设计

CPU 逻辑设计的关键技术水平要素包括处理器核心设计、互联及一致性和接口设计。涉及到的技术涵盖深度推测执行技术、直连多路 CPU Cache 一致性技术、高速接口设计、MMU 内存管理、流水线技术等。CPU 核心（Core）又称为内核，是 CPU 最重要的组成部分，由单晶硅以一定的生产工艺制造出来的，CPU 所有的计算、接受/存储命令、处理数据都由核心执行。CPU 核心的演进，从最早的单核、双核、四核到多核的 20 核心以上，处理器

设计架构变得越来越复杂。CPU 处理的数据都是存放在内存中,但由于 CPU 的运算速度比内存快得多,在 CPU 与内存之间放置一个高速存储器速度为内存的数倍,存储 CPU 频繁使用的数据与指令,来提高数据的传输速度。接口设计主要解决 CPU 和外围设备之间的时序配合和通信联络问题、数据格式转换和匹配问题、CPU 的负载能力和外围设备端口选择问题。随着新技术的不断发展,CPU 核心设计中大量的原代码、产品更新迭代的市场需求和设计规模的增大,需要将数个集成电路模块或整个系统集成到单个芯片上,片上系统 SOC 时代到来,具有自主知识产权的集成电路模块的 IP 设计核是解决设计层次、产品成本、设计周期、降低风险的关键环节。

(3) 物理设计

物理设计是在芯片逻辑功能综合完成后,将前端设计的相关库文件经过后端设计流程执行和优化,生成符合项目设计、工艺生产要求的物理版图。后端设计对 EDA 工具的要求很高,目前主要厂商为 Synopsys, Cadence 和 Mentor。EDA 厂商与工艺厂商联系紧密,为最先进的制造工艺提供相应的分析计算模型和优化算法,很大程度上决定后端设计的整体结果。国际上,主流 SOC 设计厂商已经具备基于 7nm 工艺的设计能力,在芯片性能及功耗方面具有卓越的表现,EDA 厂商不断提供更加精确可靠的算法模型,优化 EDA 工具的执行能力、自动化水平和精确程度。

(4) 封装设计

目前采用的 CPU 封装多是用绝缘的塑料或陶瓷材料包装起来,

能起着密封和提高芯片电热性能的作用。由于今天的处理器芯片的内频越来越高，功能越来越强，引脚数越来越多，封装的外形也不断在改变。

2. 核心技术掌握情况

对比技术水平发展核心因素，在国家政策推动下，我国 CPU 研发呈多技术路线同步推进、“引进消化吸收”成为主要路径。国内主流服务器及桌面 CPU 厂商虽面向市场领域不同、研发基础与风格各有差异，但都沿袭着自己的发展路线，积极投入新产品研发、努力开拓市场，培养自己的生态联盟，争取境内外广泛合作，CPU 研发的核心技术掌握既各有所长，又存在共性问题。总体看来，产业技术水平持续提升，与国际先进水平差距逐步缩小。

(1) 指令集架构

国内主流高性能服务器及桌面 CPU 主要有“申威”、“飞腾”、“龙芯”、“华为”、“兆芯”及“海光”六个品牌，指令集架构涉及“SW64”、“LoongISA”、“ARM”、“X86”四类，不同程度实现了指令系统自主设计、开放指令自主扩展和长期有效授权且可自主扩展的技术能力。随着国内 CPU 技术和产业的发展，未来可能还会出现采用其它指令集架构（如 RISC-V 等）继续加入。总体而言，已呈现出百家争鸣百花齐放的局面，培养了大量 CPU 研发领域人才，可以看到国家政策及资金扶持对 CPU 产业和技术研发投入的显著效果。

(2) 逻辑设计

国内主流厂家对处理器功能部件的自主研发程度存在差异，

体系架构的核心研发和技术消化吸收能力仍待加强。国际跨国企业技术成熟度高，核心知识产权主要掌握在其手中，由于技术基础薄弱，国内企业在核心技术知识产权上很难摆脱受制于人的现状。同时，知识产权引进的方式很可能存在授权漏洞，从而导致引进不完整、技术升级重新引进的问题，也会限制企业再创新。目前国内多数厂家在 DDR、PHY、PCI/PCIe 等以高速 Serdes 构建的关键标准接口方面尚无法自研行业最新版本 IP，多数需要采购境外企业的产品。

(3) 物理设计

国内主流厂家均建立了物理设计团队，目前使用 28 纳米或更先进工艺实现了多款 CPU 产品，但能否在国内 28 纳米/40 纳米工艺下实现性能相近的产品，或在 16 纳米工艺下实现更高性能的产品，其能力尚待验证。定制电路的设计方面，包括接口、存储单元、PLL 等多种数字、模拟、数模混合电路的设计，以及改进的单元库均需部分外购境外 IP，网单、gds 等数据难以修改。同时，多数厂商后端设计人力资源不足问题较为突出，尚不具备完全自主研发主要定制电路/IP 的能力。

(4) 封装设计

国内主流厂商的封装设计基本可以做到自主设计研发，但封装使用的材料大多依赖境外供应，且封装制作地点大多在境外。

（二） 供应链安全分析

1. 在供应链中的位置

CPU 的产业链上游包括支撑集成电路设计和制造的 EDA 辅助设计工具和 IP 服务，半导体制造设备、晶圆及化学原料等半导体材料、封测设备和封装材料等，产业链下游包括各类整机厂商、重点设备、网络设备和应用系统等，其中最重要的是服务器、桌面和嵌入式系统等硬件设备厂商。

图 5 CPU 产业供应链图



图片来源：中国评测，2020 年 10 月

2. 供应链安全分析

CPU 产业作为资金与技术高度密集行业，与产业链相关性较强，其中技术转让限制及封锁、设备出口限制，上游设备封锁等产业链因素将对整个 CPU 产业产生严重影响。对产业链上游情况动态分析，有利于对 CPU 行业的资源进行优化配置，提升产业基础能力和产业链水平。目前 CPU 产业链上游企业多为国外知名厂商，通过设置较高的技术与市场壁垒，占据市场主要份额，形成

事实垄断，对国内 CPU 相关产品的研发及市场领域形成较强的挑战。随着产业规模的迅速扩张，产业竞争加剧，分工模式进一步细化。目前市场产业链为 IC 设计、IC 制造和 IC 封装测试，其主要涉及芯片设计上游软件 EDA 及芯片制造、封装测试供货商。

EDA 工具软件可大致可分为芯片设计辅助软件、可编程芯片辅助设计软件、系统设计辅助软件等三类，可用于逻辑综合、布局布线、仿真、时序分析、物理验证等。目前国内厂商使用的 EDA 软件主要是 Synopsys、Cadence 和 MentorGraphic、北京华大九天软件，其中美国公司 Synopsys、Cadence 和 MentorGraphics 三巨头占据了 EDA 设计软件市场 95% 以上的市场份额，控制了 EDA 设计软件的发展，同时也垄断了优化服务和基于设计库的解决方案。

芯片制造环节主要涉及的企业有台积电、三星、意法半导体、格芯、中芯国际等。其中境内企业占全球市场份额的比重低于 10%，境内工艺水平最高达到 14nm，而国际主流企业台积电、三星等，工艺水平最高达到 7nm。

封测行业位于半导体产业链末端，其附加价值较低，劳动密集度高，技术壁垒较低，涉及的企业有 Amkor、ASE 日月光、KYEC、通富微电子等，日月光每年的研发费用占收入比例约为 4% 左右，远低于半导体 IC 设计、设备和制造的世界龙头公司。目前，国内封测企业长电科技、通富微电、华天科技等市场规模不断提升，市场占有率呈上升趋势。

目前，CPU 产业链的上游由国外企业主导，产业链的下游由于国产 CPU 整体水平相比国际主流产品还有较大差距，市场占有率

率较之低，整体市场竞争力较弱。我国 CPU 产业生态虽已初步形成，但产业主导权仍掌握在美欧等西方国家手中。国际主流处理器(如 Intel、AMD、ARM)，已建立成熟的产业环境，基于 Wintel 联盟平台进行开发应用。相比之下，国内 CPU 真正走向市场的时间尚短，生态系统建设困难重重，软硬件厂商按照不同的 CPU 架构和操作系统研发不同版本软硬件，市场碎片化严重，应用生态尚未完善。培育不同的生态构建方式，补齐 CPU 产业市场短板，加强产业上下游间融合发展和深度合作力度，形成软件、硬件、服务完善的生态链，是推动 CPU 产业各方达成产业共识、促进产业市场化发展的重要力量。

3. 知识产权环节分析

全球 CPU 相关的专利超过 8 万件，只 INTEL 一家公司在中国的专利布局就超过 1.5 万件。未来十年，中国的 CPU 公司不仅仅收到授权协议的约束和限制，同样面临着大量的国际 CPU 公司和专利蟑螂公司的诉讼。针对我国 CPU 体系架构的知识产权预警分析工作就迫在眉睫，面对现在七国八制的现状，如何建立安全、自主的知识产权生态体系将是重中之重。目前国内企业在 CPU 知识产权环节问题较为突出。

企业应从宏观上制定知识产权战略进行专利布局。企业知识产权战略就是作为技术创新主体的企业在进行技术创新活动时，运用专利及其他知识产权制度的特性和功能，从法律、经济和科技的角度，对有关技术创新知识产权的获得、保护、实施和管理等所做的总体安排和统一谋划，是企业从自身条件、技术环境和

竞争态势出发做出的企业技术创新知识产权工作的总体部署，以及为实现创新目标而采取的有关知识产权的根本对策。

四、 目前面临的主要问题

（一） 产业链关键环节受制于人

目前主流国产 CPU 的制造工艺已经进入 14nm 节点，部分先进产品如鲲鹏 920 已经采用 7nm 工艺。与此同时，境内没有一家制造厂可以提供 14nm/7nm 的 CPU 工艺，所有 14nm 及以下节点的 CPU 制造全部依赖境外半导体制造厂。以 CPU 生产制造核心设备 EUV 光刻机为例，7nm 及以下制程光刻机只有荷兰 ASML 公司可以生产，并用到了部分美国技术，导致境内半导体制造厂（如中芯国际）要进口该设备必须符合美国相应管制要求。

EDA 软件是大规模集成电路必不可少的设计工具，EDA 技术的发展和推广，与集成电路设计、制造、封测环节紧密相关，需要集成电路产业链上下游企业的协同合作。从技术上看，我国的 EDA 产业在部分单点工具领域取得一定突破，模拟类工具已实现全面布局，但是 CPU 专用的 EDA 工具例如数字仿真、逻辑综合、建模、布局布线等工具水平比较差，长期依赖国外产品，尚无法完成完整集成电路的功能设计、综合验证和物理设计等全流程的软件工具集群，导致无法完全替换应用。

（二） 关键标准被国外企业主导

在标准技术方面，国内目前和 CPU 相关的标准有 GB/T

36630.2-2018《信息安全技术 信息技术产品安全可控评价指标 第2部分：中央处理器》，对CPU的设计、流片、封装、测试、服务保障几个环节提出相应的安全可控要求，但是缺乏CPU相关的技术标准和测试工具标准。国外企业在CPU产业关键环节主导制定CPU架构类x86、ARM等、IP相关接口类DDR3、DDR4、PCIE等技术，形成国际竞争优势。在性能测试方面，SPEC组织的CPU基准测试被广泛应用于CPU性能评估中，成为全球性测试标准，而国内则以此为基础，形成CPU基准程序相关测试方法，制定相应测试细则。目前国内CPU产业标准体系构建尚不完备，对国外标准体系的依赖度严重影响产业安全，未形成技术评价统一规范的标准体系。依据应用需求及业务诉求，构建完备的CPU标准体系可提升产业新业务规模和效能。

（三） 核心知识产权被国外垄断

知识产权作为CPU企业技术创新的实力体现，是企业占领市场和保护市场份额的重要武器。行业新兴技术及基础技术的知识产权重要性突显，对促进CPU产业创新发展起重要支撑作用。国内CPU产业核心关键技术知识产权储备与国外差距较为明显，且产业形成的已有的知识产权主导权仍被国外企业掌控。在指令集架构方面，国外企业构筑了CPU指令集架构形成技术封锁，国内大多采用指令集架构授权。在专利许可方面，Intel、IBM等公司在相关领域已布局了大量专利，同时AMD与Intel已有专利交叉许可保护，形成专利优势建立技术壁垒，给我国CPU的发展带来了很大的挑战，导致在全球竞争中处于劣势地位。目前国内CPU

企业在研发中形成的知识产权，逐步以专利、软件著作权、集成电路布图设计和商业秘密等形式对技术创新成果形成多元化保护和管理，自主知识产权储备尚待完善。

（四） 尚未形成完善的应用生态

目前，CPU 产业链的上游基本都被国外公司控制，产业链的下游由于国产 CPU 整体水平相比国际主流产品还有较大差距，市场占有率较之低，整体市场竞争力较弱。国产 CPU 在国防、党政办公、重点行业等特定市场应用中已经实现了对国外部分产品小规模替代，但在民用消费市场中，服务器和桌面 CPU 仍然没有突破性的进展，目前主流的 X86 架构和 ARM 架构均为国外企业所有，已形成完善的应用生态，桌面市场被 Windows 和 Intel 组成的 Wintel 联盟所牢牢掌控，服务器市场也大多基于 X86 架构，嵌入式 CPU 表现稍好，但整体竞争能力仍较弱，嵌入式市场仍被 ARM 和 Android 组成的 AA 联盟垄断，产品应用生态尚不完善，市场份额基本被国外企业全部分完。

（五） 专业技术型人才缺口较大

知识创新和知识应用的能力与效率是影响 CPU 产业发展的重要因素，而创造和应用知识的主体是人，其中人才结构对 CPU 产业发展有极为重要的作用。CPU 产业发展依赖于合理的人才结构，对技术密集型产业，需大量高水平技术人才，尤其是计算机体系结构、复杂集成电路设计、操作系统内核等技术领域的专业性人才。目前我国在集成电路方面、上游的设计工具方面、生产制造

方面等人才缺口大，能力与国外相比差距也较大，行业间收入差距等因素导致行业虹吸效应凸显，集成电路企业面临招人难，我国人才结构亟需优化。就整个产业来看，还需要从高校教育开始，进行产业人才队伍的培养，目前高校课程缺少国产化技术路线的课程体系、对应的实践平台和综合评价体系。

五、 发展路径及对策建议

（一）全力推进核心工艺技术突破

一方面以国家主导方式建设 CPU 相关基础设施，包括 16nm/14nm/7nm 先进工艺的 EDA 设计工具、模拟仿真软件和平台、集成电路工艺生产线、集成电路封装测试平台等，为国产 CPU 设计验证提供持续的全局化支持。另一方面鼓励国内代工企业针对 CPU 设计开发相应工艺和 IP，通过设计企业和制造企业共同进行工艺开发，以实现更明确的研发和优化目标，提升专用 CPU 工艺对国产 CPU 芯片的支持力度。

（二）建国内 CPU 产业应用生态

目前，我国虽然已经初步建立完善的软硬件生态，但该生态的从业人员质量数量、研发投入等与国外成熟体系的差距巨大。此外，软硬件生态中存在发展不平衡等现象，严重制约了生态的可持续发展，因此需要对国内软硬件生态的各个环节进行投入，

实现均衡发展。CPU 是整个软硬件生态中的重要一环，无论在桌面 CPU、嵌入式 CPU 等主要商业化领域，还是在高性能计算及服务器应用等关系到国家安全和利益的特殊领域，都应当加快国产 CPU 的研发和相应的软硬件生态系统建设，以快速支撑起核心重点应用需求。在底层架构方面，建议对 RISC-V 等开源指令集给予支持，在区域布局方面，重点支持北京、上海、天津、深圳等城市发展 CPU 芯片，在桌面和服务端领域实现应用，逐步形成区域集聚，加强对前瞻性技术的研究与开发，加强基础技术、核心技术的人才培养，跟踪具有突破性、颠覆性的新处理器设计理论、方法和技术，抢占新一代技术制高点。

(三) 完善我国知识产权战略体系

一是通过定向培训研讨提升相关企业专利能力，组织集成电路的专业代理机构、有经验的企业、专利审查机构、法官等分别介绍专利撰写、专利质量管控、审查和侵权判定的知识和经验，在分析国外主流 CPU 厂商专利布局现状和相关诉讼的基础上研讨 CPU 专利布局经验和方法；二是转化目前“重量不重质”的评估方法，防止企业仅以获得授权专利为目的而扭曲专利申请行为，建议根据企业专利数量、质量、布局综合评价企业或产品相对于竞争对手的知识产权竞争能力；三是建议企业以在未来专利纠纷谈判、诉讼、交叉授权过程中能够发挥作用为目的进行有效的专利布局，建议企业可以考虑从未来技术发展角度进行专利布局，例如虽未在当前 CPU 中实现但未来可考虑支持的算子申请指令专利；并在 CPU 相关领域、下游和外围申请容易举证的专利，如：可信

计算和虚拟机的硬件支持，接口协议，BIOS 特色功能等；四是建议寻求机制使接受政府研发资助的企事业单位在转移相关领域的知识产权时优先转移给国内重点厂商。

（四）大力扶持 CPU 新兴应用领域

建议国家重大专项以行业应用和市场需求带动，在人工智能、5G 应用、云计算、物联网等战略性新兴应用领域设立由整机厂商牵头、软硬件厂商共同参与的课题，全面支持国产 CPU 的应用推广和生态建设。国产 CPU 具备低功耗、高密度、性能适中、IO 吞吐量高、安全等特点，正好适合于云计算与云存储类应用，并且基于 Linux 的云服务器平台使得国产 CPU 的应用兼容性问题得到了解决。一方面，从安全的角度入手，为云计算中心的安全等级制定标准，寻找适合的市场应用切入点，实现产业突破。另一方面，抓住开源硬件机遇，在柔性显示、5G、人工智能等新兴领域及早布局。

（五）加强集成电路人才培养力度

人才培养体系的构建是一项系统工程，需要教育部、高校、企业共同推进和支持，让最优秀的人培养更优秀的人才。改革课程建议包含通用计算课程体系、人工智能课程体系、创新实践、集成电路设计、CPU 原理、计算机体系结构等方面，培养掌握计算机技术和集成电路技术的复合型人才，同时积极引导行业薪酬模式，提高相关从业人员待遇，吸引更多的人才到 CPU 设计行业中，同时加强校企合作，培养更多合适的人才。

集成电路测试工程技术中心

地 址：北京市海淀区紫竹院路 66 号赛迪大厦 4 层

传 真：86-10-88559332

手 机：86-18513065850 (翟 腾)

86-18810716350 (郭青帅)

邮 箱：zhaiteng@cstc.org.cn (翟腾)